

龙门山甘溪组谢家湾段风暴岩沉积特征及其意义

魏钦廉¹ 郑荣才² 周 刚² 肖 玲¹

(1. 西安石油大学油气资源学院, 陕西 西安 710065;

2. 成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要:通过野外剖面测量、采样和室内鉴定,建立了甘溪剖面泥盆系岩石学、古生物学和沉积构造等沉积相标志,对甘溪剖面泥盆系甘溪组风暴岩进行系统研究。本剖面风暴岩沉积特征很典型,各种与风暴流有关的沉积构造非常发育,可划分出近源和远源风暴流沉积 2 个类型。风暴岩的发现有利于加深对该区沉积相的认识,风暴岩的频繁发育,表明研究区在泥盆系沉积时,曾经处于易受到古大洋气候影响的低纬度区域,由于风暴作用是瞬时间的等时性事件,风暴沉积序列可以作为“明显的等时意义”地层对比的重要标志。因此,该项研究成果对重塑龙门山地区古海洋学、古气候学的研究,对恢复古板块位置等都十分重要。

关 键 词:风暴岩;泥盆系;龙门山;古海洋

中图分类号:P512.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)05-1282-07

风暴岩(tempestite)是在风暴影响下在海洋和水盆地中形成的沉积岩^[1-2]。由于风暴岩特殊的沉积动力学特征和在古地理重建中的重要地位,已成为国内、外沉积学界研究的热点^[3-4]。目前,国内外沉积学工作者主要通过动力地层学分级法、遗迹学特征与沉积特征等方法,将风暴岩的研究应用到古环境重建、古气候恢复、古构造判别及地层对比之中。

国内对泥盆系风暴岩报道仅限于新疆、甘肃及江苏等地^[5-8],上扬子地区泥盆系风暴岩报道较少。笔者通过对龙门山泥盆纪地层的系统研究,在谢家湾泥盆系甘溪组中发现了典型的碎屑风暴沉积和混积型风暴沉积。本文拟对所发现的风暴岩进行沉积特征和成因类型等方面的研究,从而为该区泥盆纪甘溪组古地理、古气候及沉积环境分析提供依据。

1 地质概况

泥盆纪龙门山地区位于上扬子板块北西边缘,沉积盆地具有被动大陆边缘的拉张伸展型开阔海湾盆地性质^[9]。龙门山下泥盆统甘溪组谢家湾段剖面

位于四川盆地西北部北川县桂溪乡甘溪村(图 1),该剖面属于四川龙门山桂溪—沙窝子泥盆系国际标准剖面的重要组成部分^[10]。龙门山地区早泥盆世的谢家湾段沉积属于滨岸、陆棚环境^[9],地层底部以含残积灰岩砾块的灰绿色泥质粉砂岩、泥岩与甘溪段顶部的灰岩分界,总厚 161.1 m。根据岩性特征,本次研究将谢家湾段细分为 22 个小层,各小层连续出露,沉积构造发育,生物化石丰富,但缺乏大型的生物建隆^[12],自下而上具有以灰岩与泥岩互层混积为主,经砂岩与泥岩互层夹灰岩混积为主,至灰岩夹泥岩、砂岩混积为主的岩性变化和混积沉积特征。

2 风暴岩典型识别标志

风暴沉积作用这个突发高能事件,以其巨大的威力在沉积物中形成了独具特色的一系列沉积构造,如风暴侵蚀构造、风暴撕裂构造、风暴浪构造、风暴涡流构造、风暴浊流构造及风暴期后快速沉积构造等。研究区泥盆系反映风暴流沉积的沉积构造十分丰富,类型多样。其中,渠模(口袋状构造)、丘状交

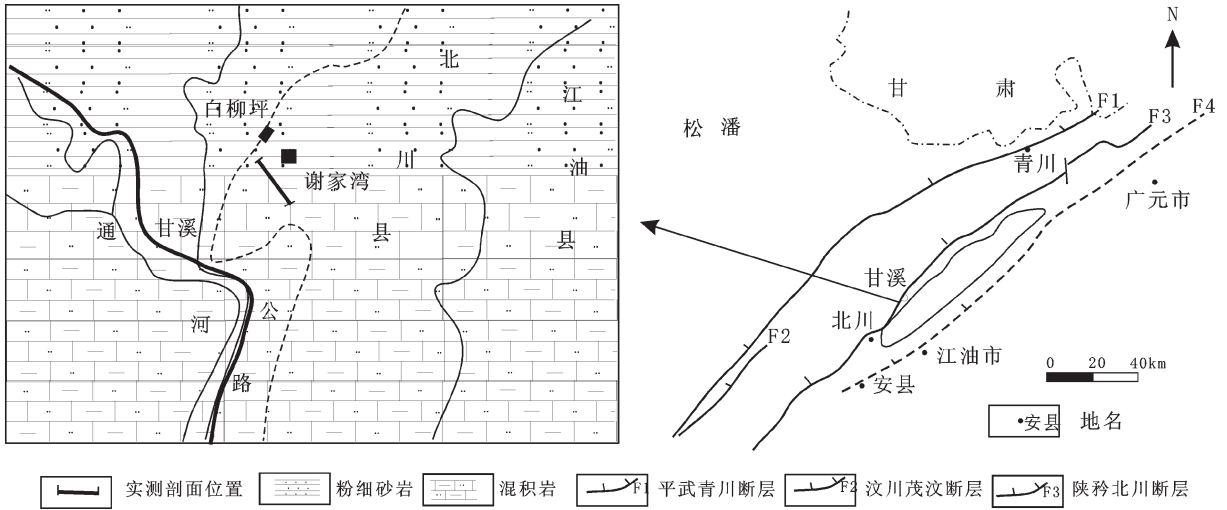


图 1 谢家湾剖面位置图(据郑荣才等,2010)

Fig.1 Location of Xiejiawan section

错层理是风暴沉积的特有构造(图 2)。

2.1 渠模构造(或口袋构造)

渠模为风暴流典型的沉积构造^[6]。每当风暴来临,强烈的气流摩擦海水形成强大的定向水流或涡流,在海底冲蚀或旋切沉积物形成刨蚀坑,坑内充填粗碎屑沉积。这些刨蚀坑在岩层断面上表现为口袋状特征,故通常称之为口袋构造,又称为渠模构造。甘溪组谢家湾段渠模构造一般深 4~8 cm,宽 5~15 cm,渠模内充填浅灰-灰色砂岩(图 2-a)。

2.2 丘状交错层理

丘状交错层理是鉴定风暴沉积最特征的标志,

也是最能反映风暴作用特征的沉积构造。丘状交错层理形成的原因是巨大的风暴浪波及海底沉积物形成纹层平缓、丘状起伏或洼状下凹的交错层理。丘状交错层理见于口袋构造之上的砂岩中,层理有缓波状的丘状纹层显示,底面为一极缓的冲刷面,纹层为平缓下凹状。

甘溪组谢家湾段产出的丘状交错层理主要特点是各细层向脊部发散增厚而向两端变薄收敛,单个丘状体长 10~25 cm,高 5~10 cm,纹层平缓(图 2-b)。上述沉积构造特征表明研究区泥盆系甘溪组谢家湾段存在典型的风暴流沉积作用。



a—谢家湾段,6层。风暴退潮流作用形成的沟模断面,呈上宽下窄的鞋跟状,远源风暴流沉积



b—谢家湾段,22层。中层含砂质微-亮晶球粒生物屑灰岩,发育风暴涨潮期形成的丘状层理构造,沉积陆棚中的近源风暴流沉积

图 2 甘溪组谢家湾段风暴岩典型识别标志

Fig.2 Sedimentary facies marks of storm flow in Xiejiawan Member of Ganxi Formation

3 风暴岩成因类型及其沉积模式

本剖面风暴岩沉积特征很典型,各种与风暴流有关的沉积构造非常发育,根据风暴岩成因类型可划分出近源和远源 2 种类型的风暴沉积。

3.1 近源型风暴沉积

近源型风暴沉积主要发育于谢家湾段 12、21 及 22 层的混积陆棚中(图 3),岩性为灰色中层状含生物屑粉-细粒砂岩或砂质生物屑灰岩,以近源风暴流为主,砂岩发育风暴潮往复振荡作用形成的丘状层理(图 2-b)和大型口袋状底冲刷构造。

3.2 远源型风暴沉积

远源风暴流沉积微相沉积主要发育于谢家湾段 6 层至 7 层陆源碎屑浅水陆棚中(图 4),岩性主要为中-薄层状粉-细粒石英砂岩夹薄层泥岩组合,砂岩中含风暴流侵蚀形成的泥屑,发育由风暴退潮流底冲刷侵蚀作用形成的小型沟模构造(图 2-a),沟模断面呈上宽下窄的鞋跟状或宽、高近于相等的口袋状,具备由粒序层、浪成沙纹层理段和水平层理段组成的风暴流层序。特征相对于近源风暴流沉积粒度变细、厚度变薄,在平面上相对物源区有更远的延伸距离。岩性主要为在泥岩中呈薄夹层产出的粉-细粒砂岩。由一次风暴流作用形成的砂体往往呈规模不大的透镜状,而由多期风暴流作用形成的透镜状砂体可形成连续叠置的砂层组,宏观上呈大砂体产出,大砂体内叠置的透镜状单砂体之间被底冲刷面分割。

3.3 风暴岩沉积模式

笔者主要依据风暴岩的剖面结构类型和沉积构造特点,认为本区风暴岩类型属异地型风暴沉积,可进一步分为近源型风暴沉积与远源型风暴沉积 2 种类型,均产于浅海陆棚环境。

甘溪组下部发育远源型风暴岩,其岩性为极细-泥岩,具波状纹层和小型丘状交错层理,底部侵蚀充填构造不很发育。上述特点表明风暴流流速低,流动状态为低流态,携带物与海水已充分混合并以垂直下落沉积为主。这类风暴岩形成于水体较深的中-外陆棚环境,属风暴浊流沉积的远源风暴岩。

甘溪组上部发育近源型风暴岩,其岩性为细砂-粉砂与碳酸盐混积,侵蚀冲刷充填构造很发育,并以凹坑状及沟状为主,发育大型长波长丘状交错层理,单层厚达 25~35 cm。显然,其形成受控于风暴

摆动浪波长长、风暴能量大且风暴作用持续时间相对较长的水动力条件,因此其流动状态为高流态,沉积环境是风暴浪基面以上内陆棚环境的原地沉积物被风暴回流改造而形成。

根据上述岩性和沉积构造特征,归纳出甘溪组风暴岩沉积模式(图 5)。

4 讨论

本次风暴岩的研究,有助于对龙门山泥盆系甘溪组地层沉积时期浅海陆棚范围的界定,并增加了新的沉积相类型,对建立沉积体系、沉积演化研究具有重要意义,同时对恢复研究区古地理提供了线索。

风暴作用主要形成于赤道附近 $5^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 的区域,影响范围多在纬度 $5^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之间^[13],风暴岩的频繁出现往往是低纬度热带气候条件的标志^[14]。本文所研究的风暴岩在短时间内出现 7~9 次(图 3~4),其单次规模和多次叠加的强度罕见性证明它与偶见风暴沉积有很大的差别,这种经常性风暴沉积反映研究区泥盆系甘溪组曾经处于热带亚热带风暴作用强烈的低纬度地区,并处于有利于风暴沉积的保存和不再受破坏与改造的浅海陆棚的沉积环境。因此,风暴岩对古纬度分析意义重大,配合古地磁资料的分析可以恢复沉积盆地当时的古地理环境,为进一步分析扬子海盆演化提供更有价值的资料。

风暴岩是在水动力非常强的环境下形成的,风暴浪将滨浅海分选较好的沉积物卷起重新搬离或搬向海岸,随着风暴能量的减弱,发生卸载,并在风暴浪来回摆动的淘洗下形成分选、磨圆好,基质含量低的丘状层理段,从而提高储集能力,可以成为一种新型储集层。同时,高频的风暴浪及其回流带来大量新的砂、泥,使海水变得浑浊,抑制了生物群落的生长或使群落发生迁移,从而从风暴岩的角度解释了该区未存在大型生物建隆的原因。

风暴沉积属阵发性事件,这给盆地地层对比乃至大区域地层等时对比提供一种比标准化石更为精确的标尺。通过对单层风暴沉积的追索,对多个剖面中多期风暴岩的对比研究,结合颗粒的成分、分选、磨圆情况,配合指相化石的研究,可大致确定盆地浅海陆棚发育位置,因为风暴沉积是一个事件沉积,可以为地层的正确划分和等时对比作出贡献。

此外,研究区的风暴岩形成机制,与地球大气循环和天体作用这两个地内地外的作用关系,与全球

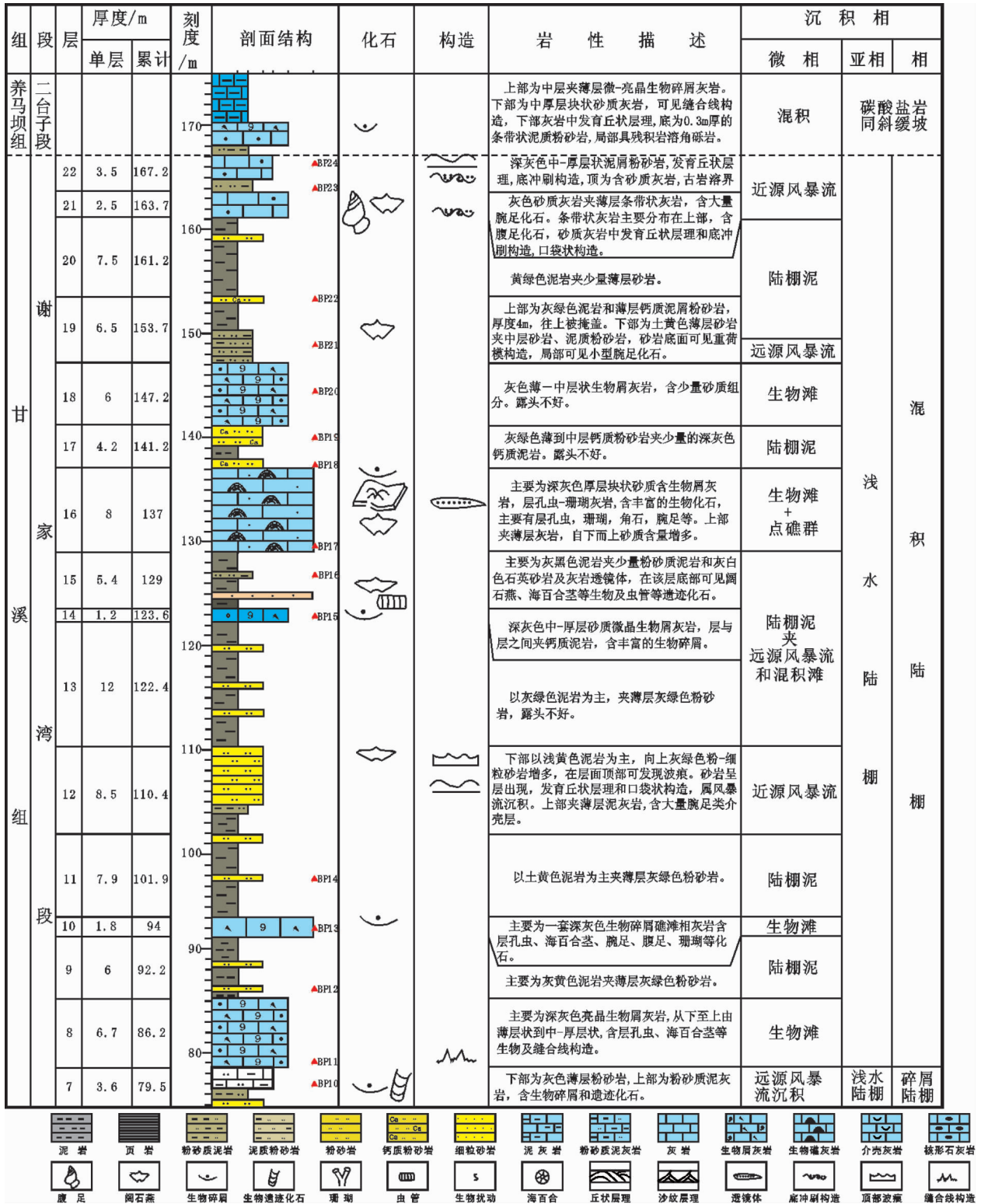


图 3 甘溪组谢家湾段混积陆棚剖面结构图

Fig.3 Geological section showing texture of hybrid shallow continental shelf of Xiejiaowan Member of Gansxi Formation

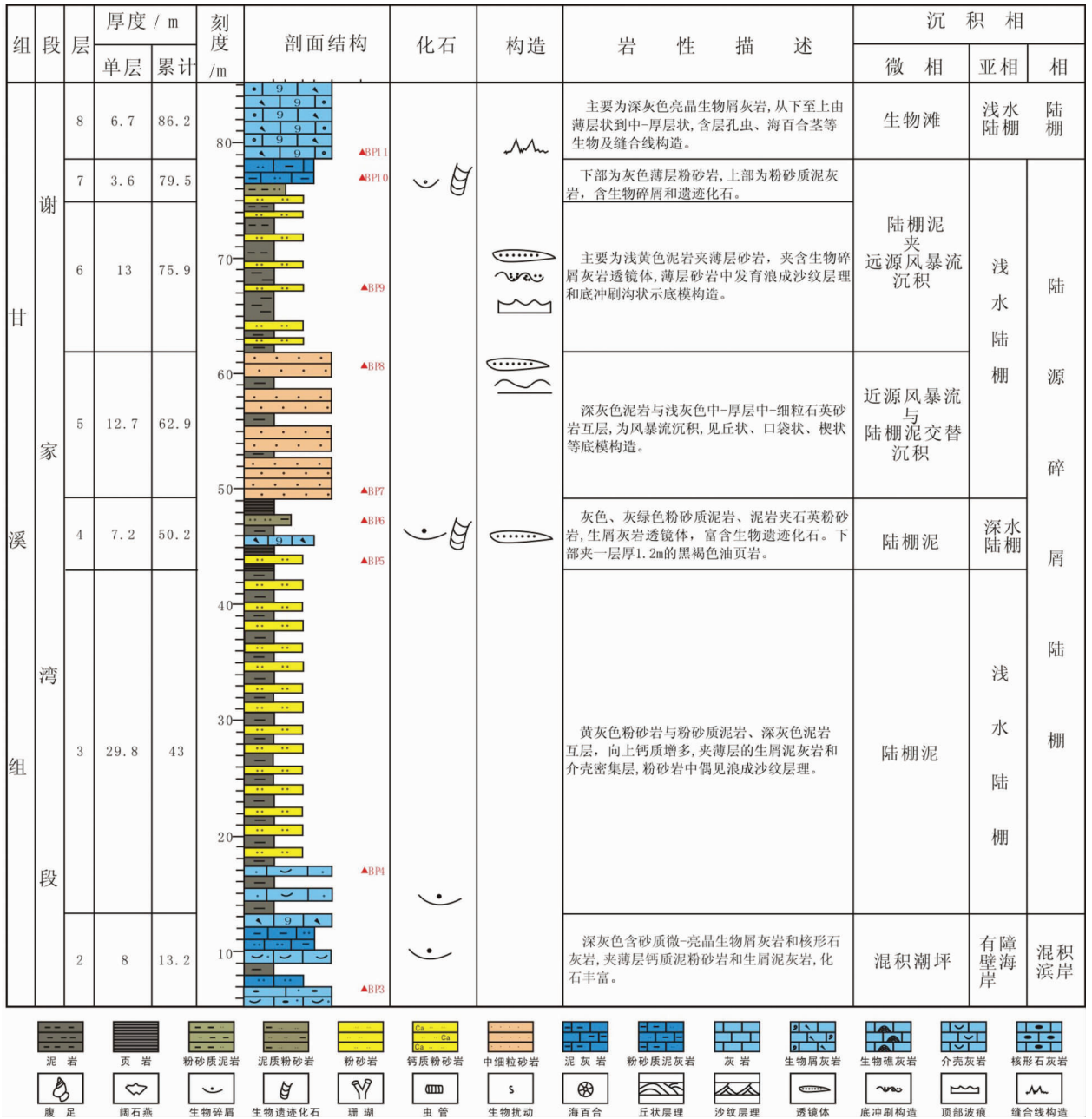


图4 甘溪组谢家湾段陆源碎屑陆棚剖面结构图

Fig.4 Geological section showing texture of terrigenous elastic mineral shelf in Xiejiawan Member of Ganxi Formation

海平面变化存在怎样的耦合关系等, 还有待于深入的研究。

5 结论

(1)根据风暴岩成因可将研究区划分出近源和远源风暴流沉积2个类型。近源风暴沉积以生物屑灰岩、礁灰岩和砂质颗粒灰岩与泥、粉砂岩不等厚互

层组合为主, 发育大型丘状层理和口袋状底冲刷构造; 远源风暴岩特征相对于近源风暴流沉积粒度变细、厚度变薄, 岩性主要为泥岩中呈薄夹层产出的粉-细粒砂岩, 发育小型沟模和浪成波痕、浪成沙纹层理。

(2)研究区泥盆纪未能形成大型生物建隆的主要原因很可能与该区高频风暴沉积有关, 即风暴

风暴浊流	风暴下部回流	风暴上部回流	风暴潮	水动力条件
平均海平面				沉积环境
正常浪基面				
风暴浪基面				底面特征
外陆棚				
中陆棚	内陆棚	开阔台地	局限台地	潮坪
底界呈波状-平缓	有突变底界和有冲刷充填构造		底界突变	底面特征
微波状交错层理 水平层理	长波长丘状层理		大型丘状交错	沉积构造
极细砂-泥	细砂-粉砂		中-细粒砂岩	粒度
低流态	高流态		高流态	流态
远源风暴岩	近源风暴岩		原地风暴岩	风暴岩类型

图 5 甘溪组风暴岩产出环境、水动力条件和沉积模式

Fig.5 Sedimentary environment, hydrodynamic conditions and model of Ganxi Formation

(回)流从滨岸带来的陆源砂抑制了底栖腕足动物为主的群落发展,也抑制了礁群落的发育。

(3)风暴岩频繁发育,反映当时谢家湾甘溪组沉积时曾经处于低纬度热带地区,风暴岩的识别为进一步分析研究区乃至扬子海盆的演化、研究华南板块的漂移历史等提供新的资料。

参考文献 (References):

[1] Kelling G, Mullin P R. Grad limestones and limestone quartzite couplets possible storm -sediments from the Pleistocene of Massachusetts[J]. Petrology, 1975, 38:971-984.

[2] Aigner T. Schill -tempestite in Oberen Muschlkalk [J]. Neues Jahrbuch Geologic and Palaeontologic Abhandlungen, 1979, 157: 326-343.

[3] 张哲, 杜远生, 毛治超, 等. 湘东南桂阳莲塘上泥盆系风暴岩特征及其古地理、古气候意义[J]. 沉积学报, 2008, 26(3):369-375. Zhang Zhe, Du Yuansheng, Mao Zhichao, et al.The upper Devonian tempestites from Liantang, Guiyang, Southeastern Hunan Province and its palaeogeographic and palaeoclimatic significance[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(3):369-375(in Chinese with English abstract).

[4] 郑宁, 姜在兴, 李廷栋, 等. 渤海湾盆地孤南洼陷沙三中亚段风暴沉积基本特征及其地质意义 [J]. 中国地质, 2010, 37 (4):1191-1198. Zheng Ning, Jiang Zaixing, Li Tingdong, et al. Basic characteristics of tempestite sediments of Middle Sha 3 Formation in Gunan subag of Bohai bay basin and their geological significance [J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1191-1198(in Chinese with English abstract).

[5] 马永生, 仲力. 风暴沉积、风暴岩的研究现状 [J]. 地质科技情报, 1990, 9(3): 9-14. Ma Yongsheng, Zhong Li. Recent development of study on storm deposition and tempestites [J]. Geological Science and Technology, 1990, 9(3):9-14(in Chinese with English abstract).

[6] Dott Rhrh, Bourgeois J.Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences [J]. Geological Society of American Bulletin, 1982, 93(8):663-680.

[7] 钟铨, 吴诒, 殷保安, 等. 广西的泥盆纪[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1992:295-298. Zhong Qiang, Wu Yi, Yin Baoan, et al. Devonian of Guangxi[M]. Wuhan:China University of Geosciences Press, 1992:295-298 (in Chinese with English abstract).

[8] 白志强. 泥盆纪华南板块古地理的位置及其漂移[J].北京大学学报(自然科学版), 1998, 34(6):807-812. Bai Zhiqiang. The paleogeographical position and drifting of the Southern China plate in Devonian [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 1998, 34 (6):807-812 (in Chinese with English abstract).

[9] 唐永忠, 石尊应, 高荣虎, 等. 扬子地台北缘南郑马元—宁强阳平关沉积盆地沉积构造事件与海平面变化响应[J].中国地质, 2011, 38(1):52-64. Tang Yongzhong, Shi Zunying, Gao Ronghu, et al. The response of Mayuan, Nanzheng - Yangpingguan, Ningqiang sedimentary basin on the northern edge of the Yangtze platform to tectonic events and sea level changes[J]. Geology in China, 2011, 38(1):52-64(in Chinese with English abstract).

[10] 侯鸿飞, 王士涛. 中国的泥盆系——中国地层[M]. 北京:地质出版社, 1988:1-348. Hou Hongfei, Wang Shitao. Devonian System of China——The

- Paleoclimate of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988; 1-348 (in Chinese with English abstract).
- [11] 郑荣才, 周刚, 董霞, 等. 龙门山甘溪组谢家湾段混积相和混积层序地层学特征[J]. 沉积学报, 2010, 28(1): 33-41.
- Zheng Rongcai, Zhou Gang, Dong Xia, et al. The characteristics of hybrid facies and hybrid sequence of Xiejiawan member of Ganxi formation in the Longmenshan area[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(1): 33-41 (in Chinese with English abstract).
- [12] 李祥辉, 刘文均, 郑荣才. 龙门山地区泥盆纪碳酸盐与硅质碎屑的混积相与混积机理[J]. 岩相古地理, 1997, 17(3): 1-10.
- Li Xianghui, Liu Wenjun, Zheng Rongcai. Hybrid facies and mechanism for the formation of the mixed Devonian carbonate siliciclastic sediments in the Longmen Mountain area [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1997, 17 (3): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- [13] 杜远生, 韩欣. 滇中中元古代昆阳群因民组碎屑风暴岩及其意义[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 259-262.
- Du Yuansheng, Han Xin. Clastic tempestite and its significance in Yinmin Formation, Kunyang Group (Mesoproterozoic) in Central Yunnan Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 259-262 (in Chinese with English abstract).
- [14] 杨宝忠, 杨坤光, 夏文臣. 鄂东黄石地区中上寒武统风暴岩的发现及意义[J]. 地质科技情报, 2007, 26(3): 33-36.
- Yang Baozhong, Yang Kunguang, Xia Wenchen. Discovery of Middle -Upper Cambrian tempestites and its significance in Huangshi, eastern Hubei Province [J]. Geological Science and Technology Information, 2007, 26 (3): 33-36 (in Chinese with English abstract).

Clastic tempestite in Xiejiawan Member of Ganxi Formation within Longmenshan area and its significance

WEI Qin-lian¹, ZHENG Rong-cai², ZHOU Gang², XIAO Ling¹

(1. Xi'an Petroleum University, Xi'an 710065, Shaanxi, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: Based on data of cross sections and observation of thin sections, the authors studied the clastic tempestite in Xiejiawan Member of Lower Devonian Ganxi Formation within Longmenshan area. Ganxi Formation is composed of clastic rocks, with the sedimentary structures developed characteristically in storm deposits, which consist of 2 types of storm deposits: distal storm flow and proximal sandy storm flow. The discovery of tempestite in Devonian Ganxi Formations is helpful to in-depth understanding of sedimentary facies in this area, which suggests that this area was located in the low latitude zone where storm deposits were developed. It can be regarded as an isochronous sign for stratigraphic division. The storm deposit has important significance for the interpretation of the palaeo-oceanography, palaeoclimate and palaeotectonics and plate motion of the Longmen Mountain.

Key words: tempestite; Devonian; Longmen Mountain; palaeo-oceanography

About the first author: WEI Qin-lian, male, born in 1976, doctor, lecturer, mainly engages in the study of petroleum geology and sedimentary reservoirs; E-mail: wql@xsyu.edu.cn.